

# 整合对闭模成型工艺的促进作用

张海清 译 王强华 校

(上海玻璃钢研究所)

## 摘 要

复合材料工业正势不可挡地摆脱早先低下的地位, 向着更机械化、更具效率的加工工艺方向发展。英国复合材料整合有限公司 (Composite Integration Ltd) 的 Stephen Leonard-Williams 和 Richard Bland 讲解了他们公司如何帮助模具人员建立成功的闭模操作系统。

简单的接触模成型 (手工或喷射铺层) 已经不可避免地应用得越来越少。来自于工厂的化学物质释放所引起的环保担忧使得相关立法越来越严格。此外在一些高规格的应用领域中, 复合材料与“传统”材料正进行越来越多的竞争, 这些领域需要更复杂、更有效和更易控制的加工工艺。这类工艺广义上称为闭模成型工艺, 例如树脂传递模塑 RTM, 真空辅助树脂传递模塑 VARTM。它在解决和接触模成型相关的化学物质释放问题上做了很多工作, 并实现了自动化, 开启了一条大批量生产复杂结构复合材料制品并能精确控制了层压板厚度和纤维布局的道路。

高聚物复合材料是当今工程领域中最具创新、扩展最快的部分之一。确实, 在 2001 年“复合材料世界”出版的《基础结构复合材料报告》中已经做出了预测: 从 2000 到 2010 年全球复合材料的应用将增加 525%! 但是目前从低技术的接触模成型过渡到更复杂技术的速度过快, 而且毫无规划, 这使得许多复合材料生产商感到无所适从。过渡期的成功管理对复合材料工业的未来存在是一个关键的问题。

## 1 工艺的实施

那些正进入闭模成型工艺的生产商之所以感到无所适从的一个重要原因是缺乏复合材料相关项目的教育和培训。模具操作人员正被日益鼓动去提高他们的技巧和基础知识, 然而专门工艺的相关培训经常留给加工设备和原材料供应商。为了成功的运用新颖、更复杂的制作工艺, 确保有效的、基于充分实践知识的信息转换是非常重要的。

新的生产工艺的实施可以分为几个特定的阶段。每个阶段都带有它自己的不同挑战, 彼此之间界限又是模糊的。一个典型的次序如下:

- 可行性——产品的设计是否适合制造工艺?

- 材料选择;
- 设备选择;
- 模具设计;
- 模具制造;
- 生产线设置、安装;
- 培训;
- 技术支持。

在复合材料行业中，工艺过程的管理很少受到重视。模具人员要采用一种新工艺有两条途径可以获得帮助：设备或材料供应商专家的技术支持或者从一家学术机构中获得正规的理论培训。供应商的技术支持通常是热心的，也是免费的。但是，这些帮助都不可避免地是针对供应商的商品，制造商很少有足够的资源可以使用户在起步阶段获得足够多的帮助——通常这种帮助只局限在一个方面，但是作为他们销售过程的一部分，对模具人员来说是不需要花费成本的。这就使得这个产业自身不愿意在这一关键环节进行投资。另一方面，理论培训可以很好地解决理论问题，但是把理论转化为实际生产又必然受到一定限制。即便如此，正确的理论知识也是一个良好的起点，是实践经验无法代替的。

## 2 整合法

复合材料整合有限公司成立于 2002 年，其直接目的是通过提供一套完整系统的方法帮助复合材料生产商进入到闭模工艺阶段。当要确定一个新的生产方案时，这就是一个标准的产品操纵时间过程：工艺经过选择，材料经过确认，设备采购完毕，人员经过培训，环境也被设计安排。此公司是以 30 年生产 RTM 工艺设备和模具的综合经验为基础，并可在任何阶段提供的经验支持。公司的目标是避免成为说明性的顾问，而是提供所有关键环节的实际帮助。

这些帮助经常在零部件的设计阶段就开始了。简单复制那些为完全不同的工艺或材料而设计的零部件的倾向经常导致制造上的问题。例如，为压模工艺设计的部件通常有一些细小部分（如肋、网格等），这在 RTM/VM 工艺中就不具操作性，而且由于对更多受约束的纤维控制的范围，这也是没有必要的。对“工艺设计”的帮助则能为产品增加价值。

下一阶段将是选定最好的模具，指定外围设备（注射机、抽真空机、操作模具、夹具和材料处理设备）。最后，提供的帮助可以确保生产过程运行平稳，人员培训效果良好。

从公司成立时起对这一设备的需求量就相当大。毫无疑问，这个方法的采用对这类项目的最后成功有重大的影响。

## 3 模具制造

除了技术支持和培训，公司也制造模具，并教别人如何制造，这拓展了 RTM 和真空工

艺的完整培训服务。模具是新实施的成型工艺过程中的一个薄弱环节。对成型工艺和相关材料缺乏了解经常会导致差错——从早期模具的设计不当到产品尺寸的不精确、不一致和材料浪费。

大多数公司都依靠采用传统经过试验和测试的技术自己生产模具。许多这些模具系统都能充分发挥作用，但是模具制造经常被视为象一个带有许多冲突观点的“魔法”一样，要选择一条最佳路线。

闭模工艺的模具肯定比制造接触模的简单模具要昂贵的多，所以寿命和效率问题是要首先考虑的。在确定一个可行的方案过程中，模具材料的选择、结构细节的设计都是至关重要的。但是市场上出售的模具各不相同且名目繁多，买家很难做出选择。

模具的选择范围可以从相对简单和便宜的复合材料结构到全加工金属结构。但选择方向并不总是明显的。表 1 比较了可采纳的不同选项。这些信息并不是包罗一切的，但是已经涵盖一些相关的问题。

表 1 闭模成型技术的比较

真空模/轻型 RTM——通常是复合材料模具	
<p>优点</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 通常用在入门阶段，但可使产量大幅提高 (&gt;2000/年)；</li> <li>• 模具比 RTM 便宜的多(大约可节省 40%)，有可能在开始阶段使用开模模具；</li> <li>• 牵引时间短；</li> <li>• 重量轻，修理少；</li> <li>• 模具搬运容易；</li> <li>• 可制造大型结构 (&gt;20m<sup>2</sup>)。</li> </ul>	<p>缺点</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 板的厚度控制精度比 RTM 低；</li> <li>• 劳动强度大，难以自动化。</li> </ul>
RTM——复合材料模具	
<p>优点</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 牵引时间相对较短，模具制造容易；</li> <li>• 可自动化，工艺参数控制良好；</li> <li>• 刚性好的模具允许快速注射从而缩短循环周期；</li> <li>• 无需 CAD 数据，从常规“模式”就可生产模具。</li> </ul>	<p>缺点</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 模具寿命与成本必须仔细权衡；</li> <li>• 制造模具的各个阶段必须严格控制；</li> <li>• 模具要仔细保养才能延长使用寿命。</li> </ul>
RTM——金属模具	
<p>优点</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 模具寿命——产品产量很高 (&gt;10,000)；</li> <li>• 找到模具成本与寿命的平衡点可使金属比复合材料便宜很多，如果产量合适；</li> <li>• 无需“模式”，可直接用 CAD 数据加工制造；</li> <li>• 可获得高质量的表面和细小部分；</li> <li>• 耐磨、耐高温、耐高压；</li> <li>• 某些式样用金属来制造比用复合材料便宜。</li> </ul>	<p>缺点</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 由于材料价格或加工的原因，大型结构过于昂贵；</li> <li>• 为避免造成昂贵的损失，需要极为专业的知识；</li> <li>• 搬运重型模具的基础结构会增加成本。</li> </ul>

## 4 实例参考

复合材料整合的应用领域很广，从高强结构的碳纤维/环氧树脂航空航天部件到车身上都有应用。现在要谈的两个项目是涉及两个完全不同的终端产品，通过它们可以对引进闭模成型工艺时需要的步骤有一个了解。

第一个项目是要制造一个相对简单但批量大的产品，它要求非常高的表面质量。此用户——北爱尔兰的 New World Developments Ltd.——要制造复合材料门的蒙皮，委托复合材料整合公司去设计、建立一个年产量为 20,000 个门蒙皮的 RTM 制造工厂。这个项目的不同阶段可分解如下：

(1) 和产品设计者协商以确认所选择的制造工艺是否合适。一个很高的要求就是两个表面必须适合机加工和复合材料模具。

(2) 选择合适的材料（玻璃纤维、树脂、脱模剂等）。可选择高活性丙烯酸树脂，它的周期时间达 6min。

(3) 设计模具、注射口、排气孔和密封断面。一个基本要求是模具要能迅速地调整以适应八种不同的设计。

(4) 确认模具供应商能够在指定时间和预算范围内生产模具。因为要用酸蚀法作为后加工操作手段来刻出条纹表面，所以模具要复杂得多。

(5) 指定模具材料。本例中选择了模具品级的铝材，因为它的韧性和对不同加工工艺的适应性。

(6) 确定表面处理方法以抵抗玻璃纤维增强物的磨损。

(7) 指定液压设备和供应商。由于循环周期短，这就要求很高的树脂注射速度。锁模力必须达到 1600kN 以抵抗注射力，并保证产品厚度的精确性。

(8) 指定注射设备和供应商。

(9) 整合设备以实现自动化生产。

(10) 指定材料处理设备和供应商。大量树脂混合的时候要允许加入促进剂、填充剂和颜料等。

(11) 通过产品与所有供应商沟通以确认任何问题，并确保各关键目标是合适的。

(12) 生产区域的设计和布局。生产区域一定要能提供一个流畅的工艺流程，并适合未来的扩展。

(13) 监督设备安装和试运转。各种原材料的检验要提供原型对象以备以后检验。

(14) 训练操作者使用设备和原材料。一旦开始生产要能提供不间断的支持。

第二个项目完全不同。这个项目是要开发一种高纤维含量的复合材料结构件，来取代一个非复合材料部件。

用户 Vortok International (Pandrol 集团的一部分，是设计用以维护铁路铁轨和基础结构的产品的专业公司) 想生产一个可以承受高的拉伸负荷和冲击负荷的复合材料轨撑。这就要

做一个形状复杂的玻璃纤维/环氧树脂模制零件，在其层压板内要有金属和聚合物的嵌件。

复合材料整合公司的项目目标是为以英国普利茅茨大学先进复合材料制造中心提供的层板设计为基础的产品评估和检测来生产预成型模具和原型模具。最后的设计就发展成了一个切实可行的生产工艺。

项目步骤如下：

- (1) 在设计期间帮助确定模制阶段的可操作性。
- (2) 设计和制造各种部件的可加热复合材料 RTM 模具。模具必须能精确定位各种嵌件，并要使紧密排列的纤维在真空注射时被浸透。
- (3) 估计纤维的铺放，设计一种可行的方法使纤维预成型。此设计需要近 50% 的单向纤维把最大的拉伸负荷传递给两端的金属嵌件。
- (4) 指定各种单向玻璃纤维带、多轴布和无捻粗纱的供应商。
- (5) 确定合适的环氧树脂体系。树脂要能在相对低温 ( $<60^{\circ}\text{C}$ ) 时快速固化且不损失其物理性能。
- (6) 制造原型部件，同时开发一个可行的生产工艺。
- (7) 在检验结果的基础上，跟用户一起对设计或模具做出修改。

## 5 成功的关键

现在，闭模成型工艺已成为一种可接受的、制造高质量、复杂结构产品的途径。但是，当在向这一途径转移的时候，失败的人比成功的更多。许多项目希望破灭，投资也血本无回。为什么如此呢？答案之一就是缺乏专业的指导。

成功的关键就是在把理论知识与相关实际经验相结合的同时，应用正确的工程学原理。如果考虑采用闭模成型工艺，在这项专门技术上的投资可能是任何公司都能做的具有最高性价比的决定。

(《RP》2003, 11: 26~29)

## 用于喷射成型工艺的无捻粗纱

位于德国 Bad Homburg 的 Johns Manville 公司正推出一种称为 Multi Star™ 819 的产品，它是一种用于喷射成型工艺的集束无捻粗纱。据称这种无捻粗纱已经过特殊的上浆处理。在切割当中，具有易切割、低毛纱和均匀分散的特征。它是用作不饱和聚酯的增强材料，据称在喷射成型工艺中能获得优秀的性能，特别是在要求光滑表面的产品中。

Johns Manville 公司还谈到这种无捻粗纱也能提供其它一些优点，如在加工中能快速浸润、不带静电以及无捻。

公司的工程产品集团还生产织造和非织造玻璃纤维以及聚酯纺粘产品。

(《RP》May 2004: 21)